BÉTON
solutions

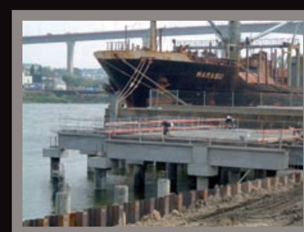
Guide pour le choix des classes d'exposition des ouvrages maritimes et fluviaux en béton

>>> Les nouveaux textes normatifs relatifs aux ouvrages en béton prennent en compte la durabilité, en s'appuyant sur la notion de classe d'exposition. Ces classes traduisent les actions dues à l'environnement auxquelles le béton et les armatures de l'ouvrage ou de chaque partie d'ouvrage vont être exposés pendant la durée de service de la structure.

Les classes d'exposition permettent ainsi d'optimiser la formulation des bétons et la conception des ouvrages en vue de leur durabilité.







Des classes d'exposition conformes à l'Eurocode Béton et à la norme Béton NF EN 206-1

Depuis le 1er avril 2010, les Eurocodes s'imposent comme normes pour les calculs des structures, et en particulier pour les structures en béton(*) :
Ces normes de conception, associées à l'Eurocode 0 (bases de conception) et aux normes définissant les actions (Eurocode 1), sont constituées du texte de la norme européenne et de l'Annexe Nationale correspondante, pour son application en France. Elles sont cohérentes avec l'application de la norme NF EN-206-1.
Pour assurer une durabilité satisfaisante des constructions, c'est aux maîtres d'ouvrage et à leurs maîtres d'œuvre de définir, dès le stade de conception, outre la durée d'utilisation de projet en cohérence avec les dispositions de la norme NF EN 1990, les classes d'exposition traduisant les attaques et risques de corrosion que subiront chaque partie d'ouvrage au cours de la durée d'utilisation de l'ouvrage.
A noter que dans le cas de produits préfabriqués non structuraux, il existe des normes de produits spécifiques autoportantes auxquelles il convient de se référer.

Un groupe de travail a été créé au sein de l'École Française du Béton afin de réaliser un guide pour aider les rédacteurs de cahiers des charges à choisir les classes d'exposition pour différentes catégories d'ouvrages ou de constructions.

Ce fascicule synthétise en trois tableaux les informations nécessaires pour les ouvrages maritimes et fluviaux en béton :
- Tableau 1 : ouvrages maritimes en béton : ouvrages portuaires et digues
- Tableau 2 : ouvrages maritimes en béton : ouvrages côtiers et autres ouvrages à la mer
- Tableau 3 : ouvrages fluviaux et de navigation intérieure en béton.

Henry Thonier, EGF-BTP

Mode d'emploi des tableaux

L'aide au choix des classes d'exposition est déclinée, pour les classes d'exposition liées aux risques de carbonatation, agression par les chlorures, gel-dégel et attaques chimiques, en trois tableaux portant en lignes les parties d'ouvrages, et en colonnes les risques considérés. Compte tenu de la nature de ces ouvrages, la prise en compte du risque d'abrasion est également explicitée (voir ci-après).
Pour les ouvrages maritimes métropolitains, l'attaque gel/dégel concerne les parties aériennes ou les zones de marnage et correspond à XF1 en zone de gel faible ou modéré, sans salage ou avec salage peu fréquent, ou à XF2 en zone de gel modéré avec salage fréquent (plus de 10 jours par an). Pour le cas particulier de St Pierre et Miquelon et des Terres Australes et Antarctiques Françaises, on retiendra la classe XF4 pour les parties d'ouvrages en zone de marnage ou d'embruns.
De façon générale, les classes indiquées ne tiennent pas compte des défauts d'entretien de l'ouvrage et de ses équipements, quelquefois constatés, car le défaut d'entretien ne doit pas être pris en compte à la conception, notamment en surclassant le niveau d'agressivité de l'environnement.
Par ailleurs, dans ces tableaux le tiret "-" indique que l'agression en question n'est pas à prendre en compte pour la partie d'ouvrage considérée.

Précision sur les ouvrages visés

Le premier tableau couvre les ouvrages maritimes comprenant les ouvrages portuaires et les digues. Le second tableau concerne les ouvrages côtiers et en mer. Pour les bâtiments, dépendances, postes de contrôle, locaux techniques et ouvrages de génie civil (par exemple les phares à terre) construits en retrait de la côte, les classes d'exposition sont à déterminer à partir des tableaux couvrant, selon le cas, les bâtiments, les ouvrages d'art (cf SB-OA-2010-1) ou les ouvrages de génie civil. En général on se reportera au tableau concernant les constructions situées à moins de 100 m de la côte (parfois plus, jusqu'à 500 m, suivant la topographie particulière), à cause du risque d'exposition aux embruns.
A titre indicatif la salinité de l'eau de mer varie de 20 à 40 g/l de NaCl. On considère dans le troisième tableau les ouvrages fluviaux ou de navigation intérieure pour lesquels l'eau est réputée douce. Pour les ouvrages des ports atteints par la marée ou le mascaret, on se reportera donc au tableau 1.

Précision sur la notion de parties immergées

Pour les ouvrages maritimes (tableaux 1 et 2), on considère que les parties "immergées en permanence" des ouvrages sont celles dont on peut s'assurer qu'elles sont situées, pour toute la durée d'utilisation prévue de l'ouvrage, en dessous du niveau de la basse mer de vive eau, sauf dans le cas des bassins à flot où cette limite est déterminée par le mode d'exploitation du plan d'eau.

Précision sur l'attaque chimique par l'eau de mer

En France, pour éviter l'attaque chimique du matériau béton dans le cas particulier de l'exposition à l'eau

(*) NF EN 1992-1-1 – *Calculs des structures en béton – Partie 1-1 : règles générales et règles pour le bâtiment*
NF EN 1992-1-2 – *Calcul des structures en béton – Partie 1-2 : règles générales - Calcul du comportement au feu*
NF EN 1992-2 – *Calcul des structures en béton – Partie 2 : ponts en béton - Calcul et dispositions constructives*
NF EN 1992-3 – *Calcul des structures en béton – Partie 3 : silos et réservoirs*

de mer, il est admis par le fascicule FDP 18-011, appelé par la norme NF EN 206-1, d'appliquer les prescriptions de composition de la classe XS1 (parties exposées à l'air véhiculant du sel marin et par interprétation de la norme, à l'infiltration des chlorures marins pour les parties enterrées), XS2 (béton immergé en permanence) ou XS3 (béton en zone de marnage et d'exposition aux embruns) des tableaux NAF 1 ou NAF 2 de la norme NF EN 206-1, que l'élément de béton soit armé ou non, et non les prescriptions de composition de la classe XA3 qui résulteraient de l'application du tableau 2 de la norme NF EN 206-1. Pour le cas d'ouvrages au contact d'eau de mer polluée ou mélangée à d'autres eaux de surface, par exemple, une analyse est à effectuer au cas par cas vis-à-vis des attaques chimiques possibles.

Précision sur la prise en compte du risque d'abrasion

Pour plusieurs parties d'ouvrages, armées ou non, visées par les tableaux, le risque d'abrasion est à apprécier en fonction du niveau d'agressivité de la houle, des courants, des fluides circulant dans et autour de l'ouvrage, de la fréquence des tempêtes, des frottements d'amarres, des jets d'hélices, de la présence de sédiments, corps flottants ou matériaux abrasifs pouvant être mis en suspension, etc.

La prévention du phénomène pourra s'appuyer sur la résistance à l'abrasion du matériau béton (obtenue par exemple par un faible rapport eau/ciment, la qualité des granulats, l'incorporation de fibres…) caractérisée éventuellement par des performances obtenues par des essais d'abrasion spécifiques.

Dans le cas du béton armé, ce risque sera exprimé par le choix de la classe d'abrasion XM1, XM2 ou XM3 et la prévention de l'abrasion pourra en outre s'appuyer sur une épaisseur sacrificielle d'enrobage comme prévu par la clause 4.4.1.2 (13) de la norme NF EN 1992-1-1. Cette clause conduit à augmenter l'enrobage minimal c_{min} de k_1 pour la classe XM1, de k_2 pour la classe XM2 et de k_3 pour la classe XM3.

Prévention de la Réaction Sulfatique Interne

Pour la prévention de la Réaction Sulfatique Interne, le guide technique "Recommandations pour la prévention des désordres dus à la Réaction Sulfatique Interne" publié par le LCPC en août 2007 s'applique. Ce guide précise :

"la norme NF EN 206-1 ne définissant pas de classe d'exposition adaptée à la réaction sulfatique interne, trois classes complémentaires XH1, XH2 et XH3 sont introduites et doivent êtres spécifiées au CCTP pour chaque partie d'ouvrage. Les spécifications définies dans ce guide doivent être prises en compte en complément de celles imposées par la norme NF EN 206-1."

Le niveau de prévention, et donc les précautions à mettre en œuvre, est associé non seulement à la classe d'exposition XH1, XH2 ou XH3, mais également au choix d'une catégorie d'ouvrage ou d'élément d'ouvrage, I, II ou III, qui dépend "de la nature de l'ouvrage, de sa destination, des conséquences des désordres sur la sécurité souhaitée, et de son entretien ultérieur".

Pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne, toutes les parties des ouvrages maritimes (ouvrages portuaires, digues, ouvrages côtiers et autres ouvrages à la mer) et toutes celles des ouvrages fluviaux et de navigation intérieure sont à considérer en classe XH3. Le niveau de prévention associé est en général Cs, sauf pour les ouvrages considérés comme exceptionnels (de catégorie III) où il s'agira du niveau Ds.

Description des classes d'abrasion

Classe d'abrasion	Description	Valeur
XM1	Abrasion modérée, telle celle des éléments de site industriel soumis à la circulation de véhicules équipés de pneumatiques	$k_1 = 5$ mm
XM2	Abrasion importante, telle celle des éléments de site industriel soumis à la circulation de chariots élévateurs équipés de pneumatiques ou de bandages en caoutchouc plein	$k_2 = 10$ mm
XM3	Abrasion extrême, telle celle des éléments de site industriel soumis à la circulation de chariots élévateurs équipés de pneumatiques ou de bandages en élastomère ou métalliques ou d'engins à chenilles	$k_3 = 15$ mm





Tableau 1 - Ouvrages maritimes en béton : ouvrages portuaires et digues

PARTIES D'OUVRAGES	XC	XS	XD	XF	XA[4]	RISQUE D'ABRASION
PARTIES COMMUNES À DIFFÉRENTS TYPES D'OUVRAGES						
Voies de grues	XC4	XS3	XD3[5]	XF1, XF2 si salage fréquent[6]	(7)	(9)
Dalles et revêtements armés de tous quais	XC4	XS3	XD3[5]	XF1, XF2 si salage fréquent[6]	(7)	(9)
Massifs bollards	XC4	XS3	XD3[5]	XF1, XF2 si salage fréquent[6]	(7)	(9)
Poutres de couronnement	XC4	XS3	XD3[5]	XF1, XF2 si salage fréquent[6]	(7)	(9) et (10)
Aqueducs	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	(10)
QUAI SUR PIEUX						
Pieux (partie aérienne ou en zone de marnage)	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	-
Partie des pieux immergée en permanence [1]	XC1	XS2	-	-	(8)	-
Partie complètement enterrée des pieux	XC2	XS1	-	-	(8)	-
Remplissage tubes métalliques [2]	-	-	-	-	-	-
Têtes de pieux	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	-
Poutres et béton clavetage	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	-
Rideaux ou massifs d'ancrage	XC2	XS2	-	-	(8)	-
DUC D'ALBE						
Partie aérienne ou en zone de marnage	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	(10)
QUAI CAISSONS PRÉFABRIQUÉS						
Caissons	XC4	XS3	XD3[5]	XF1, XF2 si salage fréquent[6]	(7)	(10)
QUAI BLOCS						
Fondations armées (partie immergée en permanence[1])	XC1	XS2	-	-	(8)	-
Fondations armées (parties totalement enterrées)	XC2	XS1	-	-	(8)	-
Blocs non armés [3] (partie immergée en permanence[1])	-	XS2[4]	-	-	(8)	-
Blocs non armés [3] (partie aérienne ou en zone de marnage)	-	XS3[4]	-	XF1[6]	(8)	-
Blocs armés	XC4	XS3	XD3[5]	XF1, XF2 si salage fréquent[6]	(7)	(10)
QUAI PAROI MOULÉE						
Parois moulées (partie aérienne ou en zone de marnage)	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	(10)
Parois moulées (partie immergée en permanence[1])	XC1	XS2	-	-	(8)	(10)
Parois moulées (parties complètement enterrées)	XC2	XS1	-	-	(8)	-
Rideaux ou massifs d'ancrage	XC2	XS2	-	-	(8)	-
ÉCLUSE						
Radier	XC2	XS2	-	-	(8)	(10)
Murs et bajoyers	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	(10)
FORME DE RADOUB						
Radier, mur de tête et bajoyers	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	(9) et (10)

DIGUES						
Blocs béton préfabriqués de carapace[3] (partie immergée en permanence[1])	-	XS2[4]	-	-	(8)	(10)
Blocs béton préfabriqués de carapace[3] (partie aérienne ou en zone de marnage)	-	XS3[4]	-	XF1[6]	(8)	(10)
Caissons : partie immergée en permanence[1]	XC1	XS2	-	-	(8)	(10)
Caissons : partie aérienne ou en zone de marnage	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	(10)
Mur de couronnement / mur chasse mer	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	(10)
Chaussées et dalles non armées des quais	XC4	XS3	-	XF1[6]	(8)	(9)

(1) Les parties “immergées en permanence” des ouvrages sont celles dont on peut s’assurer qu’elles sont situées, pour toute la durée d’utilisation prévue de l’ouvrage, en dessous du niveau de la basse mer de vive eau, sauf dans le cas des bassins à flot où cette limite est déterminée par le mode d’exploitation du plan d’eau.

(2) Pour ce béton non armé susceptible de relever de la classe X0, les spécifications (autres que la résistance minimale liée aux efforts à reprendre) sont données par le FD P 18-011

(3) Béton non armé et sans pièces métalliques noyées. Pas de corrosion mais attaque chimique par l’eau de mer

(4) En France, pour éviter l’attaque chimique du matériau béton dans le cas particulier de l’exposition à l’eau de mer, il est admis par le fascicule FDP 18-011, appelé par la norme NF EN 206-1, d’appliquer les prescriptions de composition de la classe XS1 (parties exposées à l’air véhiculant du sel marin et par interprétation de la norme, à l’infiltration des chlorures marins pour les parties enterrées), XS2 (béton immergé en permanence) ou XS3 (béton en zone de marnage et d’exposition aux embruns) des tableaux NAF 1 ou NAF 2 de la norme NF EN 206-1, que l’élément de béton soit armé ou non, et non les prescriptions de composition de la classe XA3 qui résulteraient de l’application du tableau 2 de la norme NF EN 206-1. Pour le cas d’ouvrages au contact d’eau de mer polluée ou mélangée à d’autres eaux de surface, par exemple, une analyse est à effectuer au cas par cas vis-à-vis des attaques chimiques possibles.

(5) Dans le cas de salage fréquent ou très fréquent de l’ouvrage, ou d’utilisation de produits chlorés pour son exploitation

(6) Pour les ouvrages maritimes métropolitains, l’attaque gel/dégel concerne les parties aériennes ou les zones de marnage et correspond à XF1 en zone de gel faible ou modéré, sans salage ou avec salage peu fréquent, ou à XF2 en zone de gel modéré avec salage fréquent (plus de 10 jours par an). Pour le cas particulier de St Pierre et Miquelon et des Terres Australes et Antarctiques Françaises, on retiendra la classe XF4 pour les parties d’ouvrages en zone de marnage ou d’embruns

(7) Classe d’exposition à choisir entre XA1, XA2 ou XA3 en fonction du niveau d’agressivité de l’eau de mer polluée, des eaux souterraines, et des marchandises, liquides ou produits pouvant être en contact avec l’ouvrage, en fonction de son utilisation prévue et du risque de pollution accidentelle.

(8) Classe d’exposition à choisir entre XA1, XA2 ou XA3 en fonction du niveau d’agressivité de l’eau de mer polluée et/ou des eaux souterraines pouvant être en contact avec l’ouvrage.

(9) Classe d’abrasion à choisir entre XM1, XM2 ou XM3 en fonction du niveau d’agressivité du trafic d’engins (cf. norme NF EN 1992-1-1 clause 4.4.1.2 (13))

(10) Risque d’abrasion à apprécier en fonction du niveau d’agressivité de la houle, des courants, des fluides circulant dans et autour de l’ouvrage, de la fréquence des tempêtes, des frottements d’amarres, des jets d’hélices, de la présence de sédiments, corps flottants ou matériaux abrasifs pouvant être mis en suspension, etc. La prévention du phénomène pourra s’appuyer sur la résistance à l’abrasion du matériau béton (obtenue par exemple par un faible rapport eau/ciment, la qualité des granulats, l’incorporation de fibres…) caractérisée éventuellement par des performances obtenues par des essais d’abrasion spécifiques. Dans le cas du béton armé, ce risque sera exprimé par le choix de la classe d’abrasion XM1, XM2 ou XM3 et la prévention de l’abrasion pourra en outre s’appuyer sur une épaisseur sacrificielle d’enrobage comme prévu par la clause 4.4.1.2 (13) de la norme NF EN 1992-1-1.

Tableau 2 - Ouvrages maritimes en béton : ouvrages côtiers et autres ouvrages à la mer

PARTIES D'OUVRAGES	XC	XS	XD	XF	XA[5]	RISQUE D'ABRASION
OUVRAGES DE DÉFENSE CONTRE LA MER ET PROTECTION DU LITTORAL						
Epis	XC4	XS3	-	XF1[4]	(6)	(8) et (9)
Revêtement de talus (par dalles ou éléments préfabriqués)	XC4	XS3	-	XF1[4]	(6)	(8) et (9)
Mur chasse mer, poutre de tête, couronnement	XC4	XS3	-	XF1[4]	(6)	(8)
Escaliers et rampes d'accès	XC4	XS3	-	XF1[4]	(6)	(8) et (10)
OUVRAGES EN MER : ÉOLIENNES, BALISES, TOURELLES, FEUX ET PHARES EN MER						
Parties aériennes ou en zone de marnage	XC4	XS3	-	XF1[4]	(6)	(8), (8) et (9) en zone de marnage
Partie immergée en permanence[1] [2]	XC1	XS2	-	-	(6)	(8)
Partie complètement enterrée	XC2	XS1	-	-	(6)	-
STRUCTURES FLOTTANTES, OUVRAGES OFF-SHORE						
Parties aériennes ou en zone de marnage	XC4	XS3	(3)	XF1[4]	(7)	(8), (8) et (9) en zone de marnage
Partie immergée en permanence[1] [2]	XC1	XS2	(3)	-	(7)	(8)
OUVRAGES DE PRISE ET REJET D'EAU, ÉMISSAIRES						
Partie complètement enterrée	XC2	XS1	(3)	-	(7)	(8)
Parties aériennes ou en zone de marnage	XC4	XS3	(3)	XF1[4]	(7)	(8)
Partie immergée en permanence[1] [2]	XC1	XS2	(3)	-	(7)	(8)

(1) Les parties "immergées en permanence" des ouvrages sont celles dont on peut s'assurer qu'elles sont situées, pour toute la durée d'utilisation prévue de l'ouvrage, en dessous du niveau de la basse mer de vive eau, sauf dans le cas des bassins à flot où cette limite est déterminée par le mode d'exploitation du plan d'eau.

(2) Y compris éventuellement parties d'ouvrage (ou corps morts d'amarrage) posés au fond

(3) Dans le cas de salage de l'ouvrage, ou d'utilisation de produits chlorés pour son exploitation, classe à choisir le cas échéant entre XD1, XD2 ou XD3

(4) Pour les ouvrages maritimes métropolitains, l'attaque gel/dégel concerne les parties aériennes ou les zones de marnage et correspond à XF1 en zone de gel faible ou modéré, sans salage ou avec salage peu fréquent, ou à XF2 en zone de gel modéré avec salage fréquent (plus de 10 jours par an). Pour le cas particulier de St Pierre et Miquelon et des Terres Australes et Antarctiques Françaises, on retiendra la classe XF4 pour les parties d'ouvrages en zone de marnage ou d'embruns

(5) En France, pour éviter l'attaque chimique du matériau béton dans le cas particulier de l'exposition à l'eau de mer, il est admis par le fascicule FDP 18-011, appelé par la norme NF EN 206-1, d'appliquer les prescriptions de composition de la classe XS1 (parties exposées à l'air véhiculant du sel marin et par interprétation de la norme, à l'infiltration des chlorures marins pour les parties enterrées), XS2 (béton immergé en permanence) ou XS3 (béton en zone de marnage et d'exposition aux embruns) des tableaux NAF 1 ou NAF 2 de la norme NF EN 206-1, que l'élément de béton soit armé ou non, et non les prescriptions de composition de la classe XA3 qui résulteraient de l'application du tableau 2 de la norme NF EN 206-1. Pour le cas d'ouvrages au contact d'eau de mer polluée ou mélangée à d'autres eaux de surface, par exemple, une analyse est à effectuer au cas par cas vis-à-vis des attaques chimiques possibles.

(6) Classe d'exposition à choisir entre XA1, XA2 ou XA3 en fonction du niveau d'agressivité de l'eau de mer polluée et/ou des eaux souterraines pouvant être en contact avec l'ouvrage.

(7) Classe d'exposition à choisir entre XA1, XA2 ou XA3 en fonction du niveau d'agressivité de l'eau de mer polluée, des eaux souterraines, et des marchandises, liquides ou produits pouvant être en contact avec l'ouvrage, en fonction de son utilisation prévue et du risque de pollution accidentelle.

(8) Risque d'abrasion à apprécier en fonction du niveau d'agressivité de la houle, des courants, des fluides circulant dans et autour de l'ouvrage, de la fréquence des tempêtes, des frottements d'amarres, des jets d'hélices, de la présence de sédiments, corps flottants ou matériaux abrasifs pouvant être mis en suspension, etc. La prévention du phénomène pourra s'appuyer sur la résistance à l'abrasion du matériau béton (obtenue par exemple par un faible rapport eau/ciment, la qualité des granulats, l'incorporation de fibres…) caractérisée éventuellement par des performances obtenues par des essais d'abrasion spécifiques. Dans le cas du béton armé, ce risque sera exprimé par le choix de la classe d'abrasion XM1, XM2 ou XM3 et la prévention de l'abrasion pourra en outre s'appuyer sur une épaisseur sacrificielle d'enrobage comme prévu par la clause 4.4.1.2 (13) de la norme NF EN 1992-1-1.

(9) Ouvrage particulièrement exposé à l'abrasion induite par les matériaux et sédiments environnants

(10) Classe d'abrasion à choisir entre XM1, XM2 ou XM3 en fonction du niveau d'agressivité du trafic d'engins (cf. norme NF EN 1992-1-1 clause 4.4.1.2 (13))

Tableau 3 - Ouvrages fluviaux[1] et de navigation intérieure en béton

PARTIES D'OUVRAGES	XC	XS	XD	XF		XA	RISQUE D'ABRASION
				gel faible ou modéré	gel sévère		
GENIE CIVIL DE BARRAGE DE NAVIGATION							
Appuis (culée, pile)	XC4	-	(3)	XF1	XF3	(4)	-
Radier	XC2	-	-	-	-	(4)	-
Protection amont et aval du radier	XC2	-	-	-	-	(4)	(5)
Franchissement piscicole (passe à poissons)	XC4	-	-	XF1	XF3	(4)	(5)
ECLUSE							
Radier	XC2	-	-	-	-	(4)	(5)
Bajoyer	XC4	-	(3)	XF1	XF3	(4)	(5)
Tête d'écluse	XC4	-	(3)	XF1	XF3	(4)	-
Aqueducs et conduites en béton	XC4	-	-	XF1	XF3	(4)	(5)
Bassin d'épargne	XC4	-	-	XF1	XF3	(4)	-
GENIE CIVIL DE PONT-CANAL ET PONT MOBILE[2]							
Appui (culée, pile)[2]	XC4	-	(3)	XF1	XF3	(4)	-
Tablier[2]	XC4	-	(3)	XF1	XF3	-	-
Cuvelage (étanchéité)	XC2	-	-	-	-	(4)	-
TUNNEL FLUVIAL							
Voûte	XC4	-	-	XF1	XF3	(4)	-
Revêtement béton du conduit hydraulique	XC2	-	-	-	-	(4)	(5)
Puits d'aération	XC4	-	-	XF1	XF3	(4)	-
Banquette	XC4	-	(3)	XF1	XF3	(4)	(5)
BARRAGE-RESERVOIR (REMBLAI OU EN MAÇONNERIE / BETON)							
Évacuateur de crue	XC4	-	-	XF1	XF3	(4)	(5)
Système d'étanchéité (amont, aval, interne)	XC2	-	-	-	-	(4)	-
Système de drainage (partie débouchante)	XC4	-	-	XF1	XF3	(4)	-
Ouvrage hydraulique (prise d'eau, vidange de fond, partie courante du drainage)	XC2	-	-	-	-	(4)	(5)
SECTION COURANTE DE BERGE/DIGUE DE CANAL							
Protection de berge	XC4	-	(3)	XF1	XF3	(4)	(5)
Système d'étanchéité	XC2	-	-	-	-	(4)	-

[1] A titre indicatif la salinité de l'eau de mer varie de 20 à 40 g/l de NaCl. On considère dans ce Tableau les ouvrages fluviaux ou de navigation intérieure pour lesquels l'eau est réputée douce. Pour les ouvrages des ports atteints par la marée ou le mascaret, se reporter au Tableau 1 p.4 et 5 "ouvrages maritimes en béton".

[2] Se référer éventuellement pour plus de détails aux tableaux "ouvrages d'art" (cf SB-OA-2010-1).

[3] Classe XD1, XD2 ou XD3 à choisir le cas échéant selon exposition à des sels issus du déverglaçage des chaussées voisines, ou liés à des exploitations industrielles environnantes

[4] Classe à choisir le cas échéant entre XA1, XA2 et XA3 selon l'agressivité chimique éventuelle du sol et des eaux souterraines ou en contact avec l'ouvrage, et le risque éventuel de lixiviation, cf. NF EN 206-1 et FD P 18-011.

[5] Risque d'abrasion à apprécier en fonction du niveau d'agressivité des courants, des fluides circulant dans et autour de l'ouvrage, de la présence de sédiments, corps flottants ou matériaux pouvant être mis en suspension, etc. La prévention du phénomène pourra s'appuyer sur la résistance à l'abrasion du matériau béton (obtenue par exemple par un faible rapport eau/ciment, la qualité des granulats, l'incorporation de fibres…) caractérisée éventuellement par des performances obtenues par des essais d'abrasion spécifiques. Dans le cas du béton armé, ce risque sera exprimé par le choix de la classe d'abrasion XM1, XM2 ou XM3 et la prévention de l'abrasion pourra en outre s'appuyer sur une épaisseur sacrificielle d'enrobage comme prévu par la clause 4.4.1.2 (13) de la norme NF EN 1992-1-1.

→ Bien spécifier les classes d'exposition : quel enjeu ?

Les classes d'exposition constituent, en complément de la durée d'utilisation de projet ("design service life"), la clé d'entrée de la durabilité des ouvrages en béton telle que prise en compte dans les normes actuelles : Eurocode 2, norme béton, norme d'exécution des structures en béton. Leur spécification est de la responsabilité du maître d'ouvrage qui se trouve ainsi engagé dans l'expression des risques et des conditions d'exploitation de la structure qu'il commande. Qu'elle soit traitée de façon prescriptive ou au moins partiellement performantielle, la conception durable de l'ouvrage se trouve gouvernée par cette donnée d'entrée, afin de répondre à l'objectif consistant à s'assurer d'une durée probable de service contractualisée, sans réparation majeure, compte tenu des agressions et risques probables.

Si les classes d'exposition constituent depuis quelques années des concepts connus et mis en pratique parce que participant à la désignation du béton commandé et formulé en application de la norme NF EN 206-1, il est important de noter qu'elles sont aussi à utiliser :
- dès le stade du projet pour la détermination des enrobages (normes : NF EN 1992-1-1, NF EN 1992-2 et leurs annexes nationales, section 4) ;
- dès le stade du projet pour la maîtrise de la fissuration (normes : NF EN 1992-1-1, NF EN 1992-2 et leurs annexes nationales, section 7) ;
- et lors de la construction, pour préciser les spécifications d'exécution dont, par exemple, les classes de cure (norme : NF EN 13670).

Les visées spécifiques des différentes normes qui font référence à ces classes et la multiplicité des praticiens concernés par leur utilisation ont conduit à une nécessaire mise en commun des interprétations, de façon à aider à une spécification homogène et responsable des classes d'exposition, compte tenu des enjeux économiques liés à la durabilité des ouvrages concernés. Tel a été le travail du groupe de l'EFB animé par H. Thonier, s'appuyant pour les différents types d'ouvrages sur le travail des experts concernés. Si ces *Guides d'aide au choix des classes d'exposition* n'ont pas de statut officiel, ils constituent cependant une indication du consensus technique actuel cohérent avec les niveaux d'exigence prescriptifs et/ou performantiels actuellement associés à ces classes en lien avec les durées d'utilisation de projet de référence actuelles (100 ans pour les ouvrages d'art courants). Ils ont donc en quelque sorte valeur de règles de l'art.

De façon plus fondamentale, ces tableaux traduisent effectivement un état des connaissances et un retour d'expérience qu'un maître d'ouvrage ne peut plus ignorer :
- la prise en compte du risque de corrosion des armatures et parties métalliques des ouvrages par carbonatation du béton, qui concerne pratiquement toutes les structures à des degrés divers, la sévérité du risque étant associée à la fois à l'humidité environnante moyenne (pénétration du gaz carbonique maximale pour une humidité relative comprise entre 40 et 70 %), et à des apports d'eau liquide (intempéries, condensations), le retour d'expérience sur le patrimoine bâti confirmant les analyses et modèles issus de la recherche ;
- la prise en compte du risque de corrosion des armatures et parties métalliques des ouvrages par pénétration des ions chlore, d'origine marine ou non : la pénétration de ces ions est favorisée par les cycles d'humidification-séchage, ce qui explique le niveau maximal de prévention à adopter pour les zones de marnage, soumises aux projections d'embruns ou directement soumises aux projections contenant des sels de déverglaçage ;
- la prise en compte des risques d'attaque chimique du béton et d'attaque physique liée aux cycles de gel-dégel dont le nombre est amplifié par la concomitance des sels ;
- le cas échéant, la prise en compte du risque d'abrasion ;
- enfin, le risque accru induit par l'apport éventuel d'eau liquide (immersion, projections ou intempéries), ou d'humidité persistante, dans le cadre de la prévention des désordres dus aux réactions de gonflement du béton et notamment à la Réaction Sulfatique Interne.

Si un effort reste nécessaire pour chacun avant d'atteindre l'aisance parfaite dans l'emploi de ces classes, on peut néanmoins affirmer que la cohérence désormais réelle entre l'ensemble des normes françaises et européennes sur le sujet constitue un atout pour exprimer de façon plus rationnelle l'ambition de durabilité d'un ouvrage et ses contraintes, et pour y répondre en mobilisant le meilleur des pratiques et possibilités en jouant tant sur le matériau béton que sur les dispositions d'enrobage et de ferraillage, la conception d'ensemble et de détail, les dispositifs de protection et la qualité de réalisation.

Dans tous les cas, l'enjeu est de favoriser de façon ouverte l'assurance de la qualité associée aux dispositions classiques liées à la durabilité, et aussi, en particulier dans les environnements sévères, l'émergence de variantes appropriées pour atteindre l'objectif de durabilité. ▪

François Toutlemonde, LCPC

Un groupe de travail a été créé au sein de l'École Française du Béton afin de rédiger des guides destinés à faciliter le choix des classes d'exposition pour différentes catégories d'ouvrages ou de constructions.

Ce Groupe, piloté par Henry Thonier (EGF-BTP), est constitué de membres représentant l'Administration (LCPC, CETMEF, CETU), les bureaux de contrôle (SOCOTEC, APAVE), les fédérations professionnelles (FFB, FNTP, EGF-BTP, UMGO), les entreprises (Eiffage, Bouygues), les organismes techniques professionnels (CERIB, Cimbéton).
La rédaction a été principalement assurée par Laetitia d'Aloïa (CETU), Jacques Cortade (consultant), Patrick Dantec (LRPC-Clermont), Mokhtar Daoudi (APAVE), Philippe Francisco (Cerib), Patrick Guiraud (Cimbéton), Wilfried Pillard (UMGO), Jean-Marc Potier (SNBPE), et pour les tableaux de ce fascicule par Alderic Hauchecorne, Sébastien Dupray (CETMEF), Michel Menguy, Benoît Thauvin (LRPC – Saint-Brieuc) et François Toutlemonde (LCPC).